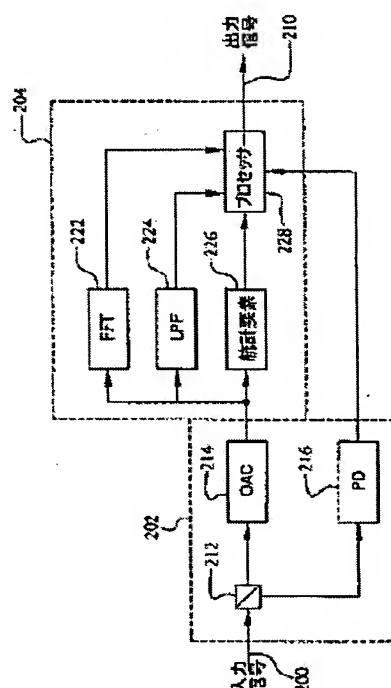


PERFORMANCE MONITORING METHOD IN OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM**Patent number:** JP2003032194**Publication date:** 2003-01-31**Inventor:** DINU MIHAELA; GARCIA HERNANDO; KILPER DANIEL
CHARLES; KNOX WAYNE HARVEY; STUART HOWARD R; XU
CHUNHUI**Applicant:** LUCENT TECHNOL INC**Classification:****- international:** H04B10/08; G02F3/00; H04B17/00**- european:****Application number:** JP20020148471 20020523**Priority number(s):**

Also published as:

US2002176129 (A1)

Report a data error here

Abstract of JP2003032194**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical performance monitor(OPM) that is used in an optical network.**SOLUTION:** The optical performance monitor has an optical autocorrelator configured to sample the autocorrelation function of the optical signal, e.g. using two-photon absorption. Autocorrelation points at various bit delays independently or in combination with average optical power may be used to detect and/or quantify one or more of the following: loss of data modulation, signal contrast, pulse broadening, peak power fluctuations, timing jitter, and deviations from the pseudo-random character of data. In addition, the OPM may be configured to perform Fourier transformation based on the autocorrelation points to obtain corresponding spectral components. The spectral components may be used to detect and/or quantify one or more of chromatic dispersion, polarization mode dispersion, and misalignment of a pulse carver and data modulator.

Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-32194

(P2003-32194A)

(43) 公開日 平成15年1月31日 (2003.1.31)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマート* (参考)
H 0 4 B 10/08		G 0 2 F 3/00	5 0 2 2 K 0 0 2
G 0 2 F 3/00	5 0 2	H 0 4 B 17/00	M 5 K 0 4 2
H 0 4 B 17/00		9/00	K 5 K 1 0 2

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2002-148471 (P2002-148471)
(22) 出願日 平成14年5月23日 (2002.5.23)
(31) 優先権主張番号 60/293047
(32) 優先日 平成13年5月23日 (2001.5.23)
(33) 優先権主張国 米国 (US)
(31) 優先権主張番号 10/109623
(32) 優先日 平成14年3月28日 (2002.3.28)
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 596092698
ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レーテッド
アメリカ合衆国, 07974-0636 ニュージ
ャーシイ, マレイ ヒル, マウンテン ア
ヴェニュー 600
(72) 発明者 ミハエラ ディヌ
アメリカ合衆国 07724 ニュージャース
ィ, イートンタウン, イートンクレスト
ドライヴ 162エー
(74) 代理人 100064447
弁理士 岡部 正夫 (外10名)

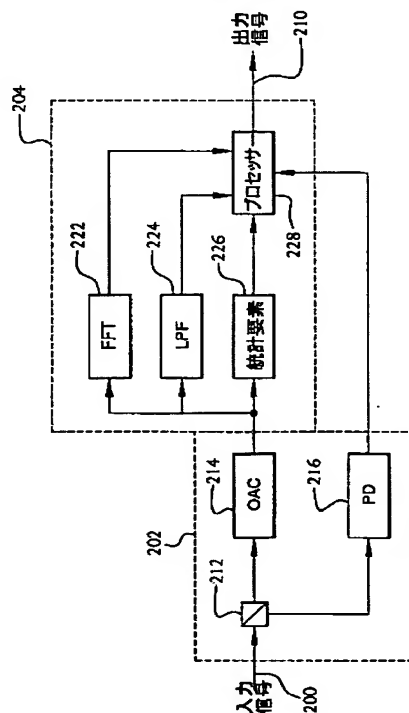
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光通信システムにおける性能監視法

(57) 【要約】

【課題】 光ネットワークにおいて使用される、光性能モニター (OPM) を提供する。

【解決手段】 OPMは、たとえば、2光子吸収を使用して、光信号の自己相関関数をサンプリングするように構成された光自己相関器を有する。様々なビット遅延における自己相関点は、独立に、または平均光パワーと組み合わせて、以下の1つまたは複数を検出かつ/または数量化するために使用される。すなわち、データ変調の損失、信号コントラスト、パルス拡がり、ピークパワー変動、タイミングジッター、およびデータの擬似ランダム特性からの偏移である。加えて、OPMは、対応するスペクトル成分を獲得するために、自己相関点に基づいてフーリエ変換を行うように構成される。スペクトル成分は、波長分散、偏波モード分散、およびパルスカーバーとデータ変調器の位置合せずれの1つまたは複数を検出かつ/または数量化するために使用される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 通信システム内で性能を監視するための方法であって、

(A) 通信システムの光信号に対応する光自己相関関数の1つまたは複数のサンプルを生成するステップと、

(B) 1つまたは複数のサンプルに基づいて光信号における減損を特徴付けるステップとを含む方法。

【請求項2】 ステップ(A)が、1つまたは複数のサンプルに基づいて1つまたは複数のスペクトル成分を生成するステップを含み、そしてステップ(B)が、1つまたは複数のスペクトル成分に基づいて減損を特徴付けるステップを含む請求項1に記載の発明。

【請求項3】 減損が、(i) 波長分散、(i i) パルス拡がり、および(i i i) データ変調器とパルスカーバーの間の位置合せずれの1つであり、減損がパルス拡がりである時、1つまたは複数のスペクトル成分が、低周波数成分と高周波数成分を含み、減損がデータ変調器とパルスカーバーの間の位置合せずれである時、

光信号が、クロック周波数で変調されたデータ信号に基づき、データ変調器とパルスカーバーを使用して生成され、

1つまたは複数のスペクトル成分が、クロック周波数の約2分の1で位置付けられる成分を含む請求項2に記載の発明。

【請求項4】 ステップ(A)が、1つまたは複数のサンプルに対応する1つまたは複数の振幅変化を測定するステップを含み、ステップ(B)が、1つまたは複数の振幅変化に基づいて減損を特徴付けるステップを含む請求項1に記載の発明。

【請求項5】 減損が、(i) 光信号のピークパワー変動、(i i) パワー変動、(i i i) 光信号におけるパルス間タイミングジッター、および(i v) 擬似ランダム特性からの偏移の1つであり、

減損が光信号のピークパワー変動である時、1つまたは複数のサンプルが、0ビット遅延自己相関点を含み、

減損がパワー変動である時、1つまたは複数のサンプルが、1/2ビット遅延自己相関点を含み、

減損が光信号におけるパルス間タイミングジッターである時、1つまたは複数のサンプルが、1/2および1ビット遅延自己相関点を含み、

減損が擬似ランダム特性からの偏移である時、光信号が擬似ランダムデータ信号に基づき、

1つまたは複数のサンプルが、0および1ビット遅延自己相関点を含む請求項4に記載の発明。

【請求項6】 ステップ(A)が、1つまたは複数のサンプルに対応する1つまたは複数の平均振幅を測定するステップを含み、ステップ(B)が、1つまたは複数の平均振幅に基づいて減損を特徴付けるステップを含む請求項1に記載の発明。

【請求項7】 減損が、(i) コントラストの減少、(i i) パワー拡がり、および(i i i) データ変調の損失の1つであり、

減損がコントラストの減少またはパワー拡がりである時、1つまたは複数のサンプルが、0および1/2ビット遅延自己相関点を含み、

減損がデータ変調の損失である時、

ステップ(A)が、光信号に対応する平均光パワーを測定するステップをさらに含み、

1つまたは複数のサンプルが、0ビット遅延自己相関点を含み、

データ変調の損失が、0ビット遅延自己相関点に対応する平均振幅と平均光パワーの2乗との比に基づいて特徴付けられる請求項6に記載の発明。

【請求項8】 ステップ(A)が、

(A 1) 光信号に対応する平均光パワーを測定するステップと、

(A 2) 1つまたは複数のサンプルに基づいて1つまたは複数のスペクトル成分を生成するステップと、

(A 3) 1つまたは複数のサンプルに対応する1つまたは複数の振幅変化を測定するステップと、

(A 4) 1つまたは複数のサンプルに対応する1つまたは複数の平均振幅を測定するステップとを含み、

ステップ(B)が、1つまたは複数のスペクトル成分、振幅変化、平均振幅、および平均光パワー測定値に基づいて、光信号における2つ以上の減損を特徴付けるステップを含む請求項1に記載の発明。

【請求項9】 通信システム内で性能を監視するための装置であって、

(a) 通信システムから光信号を受信し、光信号に対応する自己相関関数の1つまたは複数のサンプルを生成するように構成された光自己相関器(OAC)と、

(b) 1つまたは複数のサンプルに基づいて光信号における減損を特徴付けるように構成された信号処理モジュール(SPM)とを具備する装置。

【請求項10】 光信号に対応する平均光パワーを測定し、平均光パワー測定値をSPMに提供するように構成されたパワー検出器(PD)をさらに具備し、SPMが、1つまたは複数のサンプルに基づいて1つまたは複数のスペクトル成分を生成するように構成された離散フーリエ変換(DFT)要素と、

1つまたは複数のサンプルに対応する1つまたは複数の振幅変化を測定するように構成された統計要素と、

1つまたは複数のサンプルに対応する1つまたは複数の平均振幅を測定するように構成された低域通過フィルター(LPF)要素とを具備し、SPMが、1つまたは複数のスペクトル成分、振幅変化、平均振幅、および光パワー測定値に基づいて、光信号における2つ以上の減損を特徴付けるように構成される請求項9に記載の発明。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信システムに関し、さらに詳細には、光通信システムの性能の監視に関する。

【0002】関連出願の相互参照

この出願は、2001年5月23日出願された「Optical Performance Monitoring Using Optical Autocorrelations」という名称の米国仮特許出願第60/293,047号から優先権を主張する。

【0003】

【従来の技術】光ファイバーネットワークは、現光の通信システム内でのデータ伝送のために、広く使用されている。データトラフィック量の増大により、ネットワークの監視および管理は、ますます重要になっている。たとえば、そのような監視は、ネットワークの特定点における1つまたは複数の光通信チャネルに対応する光信号の品質の測定を含む。光信号は、様々な減損、たとえば、タイミングジッター、波長分散等について分析される。得られた情報は、たとえば、ある減損が許容レベルを超えた場合に、ネットワークの性能を改善するために使用することができる。

【0004】光信号を分析する1つの周知の方法は、その信号を選び出し、光電(O/E)コンバーターを使用して電気信号に変換し、電気信号処理方法を使用して、減損について電気信号を分析することである。しかし、この方法の1つの欠点は、一般に高速電子回路を必要とすることである。さらに、比較的高いビット率では、利用可能な電子回路の感度または帯域幅が、光信号における減損を正確に、かつ/または費用効果的に測定するために不十分である可能性がある。結果的に、そのような手段によって、ある減損は喪失され、あるいは光信号を監視するためには非実際である可能性がある。監視用電子回路が適切な帯域幅を有する時も、受信機の感度よりも低い振幅において現れる減損を監視することは、たとえば、(1)先制監視、すなわち、性能に衝撃を与える前に問題を識別すること、または、(2)送信機において信号を監視する、すなわち、受信機における信号と比べて比較的高い忠実度の条件下で信号を監視するために有利である。大きい透過性領域、すなわち、O/E変換点の間に大きな距離を有する光ネットワークにおいて、監視は、障害成分の位置を識別し、かつ/または減損の原因を診断するためにとくに重要になる。

【0005】光信号の監視に適用される光学的方法は、信号処理の少なくとも一部が光領域において行なわれるために、電気的方法よりも一定の利点を有する。これは、監視用電子回路に対する帯域幅の必要条件を低減する。たとえば、光パルスひずみを決定するためのパルス持続時間とパルス形状測定は、比較的に遅い光検出器およびその対応する電子回路と結合された第二高調波発生

(SHG)など、非線形光学技術を使用して、短い光パルスに対して実現される。しかし、光信号の異なるパラメータを測定するために、異なる非線形光学方法を適用する必要がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】光信号の幾つかのパラメータ(たとえば、非線形パルスひずみ)を測定するために実験室で実際に使用されるが、非線形光学方法は、光ファイバーネットワークにおける光性能の監視に適用されない。これは、主に、比較的成本の高い非線形光学構成要素、性能の制約および/またはシステムの複雑性による。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の実施形態によれば、たとえば、光ネットワークにおいて使用される、光性能モニター(OPM)が提供される。OPMは、データで変調された光信号における1つまたは複数の減損を特徴付けるように構成される。OPMは、2光子吸収を使用して、光信号の自己相関関数をサンプリングするように構成された光自己相関器を有する。様々なビット遅延における自己相関点は、独立に、または平均光パワーと組み合わせて、以下の1つまたは複数を検出かつ/または数量化するために使用される。すなわち、データ変調の損失、信号コントラスト、パルス広がり、ピークパワー変動、タイミングジッター、およびデータの擬似ランダム特性からの偏移である。加えて、OPMは、対応するスペクトル成分を得るために、自己相関点に基づいてフーリエ変換を行うように構成される。スペクトル成分は、波長分散、偏波モード分散、およびパルスカーバとデータ変調器の位置合せずれの1つまたは複数を検出かつ/または数量化するために使用される。OPMは、さらに、たとえば、ネットワーク性能を改良するためにネットワークオペレータへのフィードバックを生成するように構成される。

【0008】本発明の一実施形態によれば、通信システムにおける性能監視装置において、(a)通信システムから光信号を受信し、光信号に対応する自己相関関数の1つまたは複数のサンプルを生成するように構成された光自己相関器(OAC)と、(b)1つまたは複数のサンプルに基づいて光信号における減損を特徴付けるように構成された信号処理モジュール(SPM)とを具備する性能監視装置が提供される。

【0009】本発明の別の実施形態によれば、通信システムにおける性能監視法において、(A)通信システムの光信号に対応する光自己相関関数の1つまたは複数のサンプルを生成するステップと、(B)1つまたは複数のサンプルに基づいて光信号における減損を特徴付けるステップとを含む性能監視法が提供される。本発明の他の見地、特徴および利点は、次の詳細な説明、特許請求の範囲、および添付の図面からさらに十分に明らかにな

るであろう。

【0010】

【発明の実施の形態】本明細書で、「一実施形態」とは、実施形態に関連して記載された特定の特徵、構造、または特性が、発明の少なくとも1つの実施形態に包含されることを意味する。明細書の様々な箇所に出現する成句「一実施形態」は、かならずしも同一実施形態に言及するものではなく、他の実施形態とは相容れない独立または代替的な実施形態に言及するものでもない。

【0011】光性能モニター

図1は、本発明の一実施形態による光性能モニター（OPM）110を使用する光ファイバーネットワーク100を示す。ネットワーク100は、ソースノード102から複数の中間ノード104を介して宛て先ノード108へのデータで変調された光信号を搬送するように構成される。リンク106など、長距離、メトロまたはアクセス光伝送リンクは、図1に示された中間ノード104Aと104Bなど、一対のノードを連結する。リンク106は、たとえば、光ファイバーにおいて光吸収によって減衰された、光信号をブーストするように構成された光増幅器（不図示）を含む。OPM110など、1つまたは複数の光性能モニターは、ネットワーク100に沿った1つまたは複数の異なる地点に位置し、これらの地点において光信号の品質を監視する。図1において、OPM110は、ノード104Aと104Bの間のリンク106へ連結されるとして示される。

【0012】図2は、本発明の一実施形態によるOPM110を示す。この実施形態において、OPM110は、光電子モジュール（OEM）202と信号処理モジュール（SPM）204を具備する。OEM202は、（i）たとえば、光タップを使用するリンク106から光入力信号200を受信し、（ii）その信号を光学的に処理し、（iii）信号200に対応する1つまたは複数の電気出力を生成し、SPM204においてさらに処理するように構成される。SPM204は、信号200における1つまたは複数の減損を検出するために、OEM202の1つまたは複数の電気出力を処理するように構成される。SPM204は、たとえば、リンク106の性能を調整するために使用される、出力信号210を生成するようにさらに構成される。

【0013】一実施形態において、OEM202は、スプリッター212、光自己相関器（OAC）214、およびパワー検出器（PD）216を具備する。スプリッター212は、信号200を2つの光信号に分割し、それぞれ、OAC214とPD216に適用する。好ましい実施において、信号200の大部分（たとえば、99%）は、OAC214へ向けられるが、ほんの小部分（たとえば、1%）は、PD216へ向けられる。一実施形態において、PD216は、信号200の平均光パワーに比例する電気信号を生成するように構成された比

較的遅い光検出器である。この電気信号は、OEM202からSPM204へ出力される。

【0014】OAC214は、信号200の光自己相関関数を測定するように構成される。一般に、時間従属関数 $S(\tau)$ の自己相関関数 $A(t)$ は、次のように、方程式（1）によって表される。

$$A(t) = S(\tau) S(t + \tau) \quad (1)$$

$A(t)$ は、 $S(\tau)$ に時間間隔（ t 、遅延期間）だけ遅らせた $S(t + \tau)$ を掛け算することにより獲得される。 $A(t)$ は、1セットの遅延期間を使用してサンプリングされる。応用により、種々の選択数のサンプルが、 $A(t)$ を表現するために使用される。一実施形態において、OAC214は、 N 地点において信号200の自己相関関数をサンプリングするように構成される。ここで、 $N \geq 1$ である。OAC214は、さらに、 N サンプリング点に対応する電気信号をSPM204へ出力し、後続の処理をするように構成される。OAC214の様々な実施形態の詳しい説明は、図3と図4に関連して以下に与えられる。

【0015】再び図2を参照すると、一実施形態において、SPM204は、高速フーリエ変換（FFT）要素222、低域通過フィルター（LPF）要素224、および統計要素226を具備し、これらはすべてプロセッサ228へ連結される。プロセッサ228は、要素224～226およびPD216によって生成された信号を処理し、信号200における減損を識別するように構成される。プロセッサ228は、信号210を生成し、たとえば、ネットワーク性能の改良のための補正措置を講ずるために、ネットワークオペレータヘフィードバックするように構成される。一実施形態において、プロセッサ228は、ルックアップテーブルとして実現される。他の実施形態において、プロセッサ228の異なる実現も使用される。加えて、プロセッサ218は、OPM110へ連結された異なる装置の一部であってもよい。

【0016】FFT要素222は、OAC214によってサンプリングされた N 個の自己相関点に基づいたフーリエ変換を生成するように構成される。一実施形態において、FFT要素222はまた、フーリエ変換を生成する前に、 N サンプリング点をゼロ充填するように構成される。LPF要素224は、たとえば、低域通過フィルターを使用して、 N サンプリング自己相関点内の1つまたは複数の選択点の平均振幅を測定するように構成される。統計要素226は、 N サンプリング自己相関点内の1つまたは複数の選択点に対応する振幅変化を測定するように構成される（この選択はLPF要素224によって測定されたものと同一またはそれとは異なる）。一実施形態において、LPF要素224と統計要素226は、さらに、それぞれの選択点の相対平均振幅と相対振幅を測定するように構成される。

【0017】本発明の一実施形態において、OAC214は、市販される自己相関器、たとえば、ニュージャージー州NorthvaleのINRAD社から市販されるモデルPulseCheck-150である。そのような自己相関器を使用して、自己相関関数は、干渉計の1つの脚を機械的に走査し、その脚からの光信号を、非線形媒体における別の脚からの信号と組み合わせることによりサンプリングされる。そのような技術はある応用に対して適切であるが、いくつかの欠点がある。たとえば、機械的走査の1つの欠点は、最新のネットワークにおいて必要とされる監視速度と比較して遅いことである。加えて、機械的走査において使用されるモーターは、定期保守および／または交換を必要とする。

【0018】図3は、OAC214の代替的な実現を示し、この場合、走査速度は、市販される自己相関器と比較して高速である。図3のOAC214は、1×2スプリッター302、MEMS（超小形電子機械システム）スイッチ304、N固定ファイバー遅延脚306、N×1カプラー308、オプションの可調整遅延310、アバランシェフォトダイオード（APD）312、および出力インターフェース314を具備する。OAC214は、次のように動作するように構成される。OAC214に加えられた光信号は、スプリッター302を使用して、2つの光信号へ分割される。2つの光信号は、それぞれ、2つの異なる光路を通して送信される。すなわち、第1光信号は、スイッチ304、遅延脚306およびカプラー308を具備する第1光路を通り、第2信号は、オプションの遅延310を具備する第2光路を通して送信される。

【0019】第1光路において、スイッチ304のMEMS鏡は、種々の遅延脚306に対応する位置に歩測され、第1光信号を特定の脚からカプラー308へ送信する。それから、第1光信号は、第2光路からの第2光信号とともにAPD312において処理され、自己相関関数の特定サンプルを生成する。一実施形態において、APD312は、2光子吸収により光信号を検出するように構成される。それ自体、APD312は、2つの信号の積に対応する電気信号を生成する。それから、その電気信号は、インターフェース314を使用して、OAC214から出力される。MEMS鏡がN個の異なる遅延脚306に対応するN位置に歩測された後、自己相関関数のN個のサンプルが生成される。

【0020】一実施形態において、遅延脚306は、広範囲の固定遅延を含み、種々のビットレートの光信号の監視を可能にする。たとえば、遅延脚306は、次のように、10Gb/sと40Gb/sに対応する5個の個別遅延脚を含む。すなわち、(1) 0ps、(2) 12.5ps（40Gb/sに対して1/2ビット）、(3) 25ps（40Gb/sに対して1ビット）、(4) 50ps（10Gb/sに対して1/2ビット）

ト）、および100ps（10Gb/sに対して1ビット）である。種々の遅延は、可調整遅延310を使用することにより、同一セットの遅延脚306で実現される。

【0021】OAC214の上記の実施形態において、自己相関関数のN個のサンプルは、異なるサンプル点が光信号における異なるデータセットに対応するようにシリアル式に獲得される。そのようなサンプリング化は、いくつかの応用に対して好都合である。

【0022】図4は、OAC214の別の可能な実現を示し、この実現では、可動部品がなく、自己相関点を並列に生成するように構成される。結果的に、図4のOAC214を有するOPM110は、同一データセットに対応する自己相関点を生成する。図4の実現において、OAC214は、3つの自己相関点をサンプリングするように構成される。種々の実現において、種々の数の自己相関点が、同様の原理を使用してサンプリングされる。

【0023】OAC214は、4つの1×2スプリッター402、2つの固定または可変ファイバー遅延406、3つのAPD412A-C、およびインターフェース414を具備する。各APD412は、図3のAPD312と同様である。一実施形態において、遅延406は、たとえば、1/2ビット遅延（40Gb/sに対して12.5ps）である。OAC214に加えられた光信号は、スプリッター402を使用して、5つの光信号410A-Eへ分割される。各光信号は、異なる光路を介して対応するAPD412に到来する。光信号410A-Eに対応する相対遅延は、次などである。すなわち、(i) 410A、410Bおよび410Dに対して0ビット、(i i) 410Cに対して1/2ビット、

(i i i) 410Eに対して1ビットである。APDにおいて2つの選択光信号を処理することにより、特定の自己相関点が、サンプリングされる。たとえば、APD412Cは、光信号410Dと410Eを処理し、このため、1ビット遅延自己相関点をサンプリングする。同様に、APD412Bは、光信号410Bと410Cを処理し、APD412Aは、光信号410Aをそれ自体で処理し、このため、1/2ビットおよび0ビット遅延自己相関点をそれぞれサンプリングする。対応する光信号は、好ましくは、干渉じまのない構成において各APD412で処理される。そのような構成は、たとえば、ファイバー出力をAPD面へ互いに小角度で集束させるように構成されたレンズへ並列ファイバー出力を向けさせることにより実現される。APD412によって生成された電気信号は、インターフェース414を介してOAC214からSPM204へ出力される。

【0024】OAC214の付加的な実現は、種々の光プラットフォームを使用して実現される。たとえば、図3の実現は、ファイバーの代わりに自由空間光学系を使

用して実現される。加えて、図4の実現は、平面導波路光学系を使用して実現される。

【0025】光信号減損

次に、本発明のOPMを使用して監視される光信号における代表的減損を説明する。

【0026】光信号のピークパワーの変動は、たとえば、自己相関関数の0ビット遅延点を使用して、監視される。ピークパワーは、一般に、データの頂部（または論理的1）レールに対応する。このため、ピークパワーの変動は、受信機においてビットエラーを導入する。変動は、たとえば、光増幅器において増殖ノイズまたは自然放出ビートノイズにより発生する。頂部レールに対する典型的なノイズ源は、広帯域であるために、通常、比較的低いか高い周波数において比例的に現れる。このため、たとえば、統計要素226（図2）を使用した、0ビット遅延点の変動の比較的遅い監視により、データの頂部レールにおいて全広帯域ノイズの測定がなされる。

【0027】同様の接近方法は、自己相関関数の1/2ビット遅延点を使用してデータの底部（または論理的ゼロ）レールに対して変動を監視するために実現される。そのような変動は、同様に、統計要素226を使用して測定される。

【0028】データの頂部および底部レールにおける平均パワーレベルは、LPF要素224（図2）を使用して、各々0ビットおよび1/2ビット遅延点から獲得される。これらのレベルは、たとえば、光チャネルのアイを評価するために、光信号のコントラストを測定するために使用される。さらに、パルス拡がりまたは、光信号のコントラストを縮小する効果があるために、0ビットおよび1/2ビット遅延点を使用して監視される。加えて、データ変調の損失は、0ビット遅延点における平均パワーレベルとPD216を使用して測定された平均光パワーの平方の比から検出される。たとえば、この比が1に近づくならば、光信号は、もはやデータで変調されない。他方、比較的大きなこの比の値は、対応する光チャネルの比較的広いアイを示す。

【0029】パルス間タイミングジッターは、1/2ビットおよび1ビット遅延自己相関点の振幅変化を使用して監視される。このタイプのジッターは、1ビット遅延点の振幅を同時に減少させながら、1/2ビット遅延点の振幅を増大させる効果を有する。

【0030】様々なタイムスケールにおけるタイミングジッターが、たとえば、1ビット遅延の倍数に対応する自己相関点を使用して、監視される。たとえば、1ビット遅延スケール（10Gb/sに対して100ps）においてタイミングジッターを評価するために、0ビットおよび1ビット遅延点と比較される。同様に、nビット遅延スケール（10Gb/sに対してn×100ps）においてタイミングジッターを評価するために、0ビットおよびnビット遅延点と比較される。さらに具体的に

は、ジッターが高いほど、0ビットおよびnビット遅延点に対応する振幅の比は減少する。

【0031】1ビットおよび0ビット遅延点の同時の監視は、偽論理1および/または0に付随した信号エラーを検出するために使用される。たとえば、擬似ランダムデータストリームに対して、これらの点における振幅の比は、約0.5である。偽論理1および/または0の存在は、0.5からの対応する比の偏差において出現するデータの擬似ランダム特性を破壊する。このため、0.5からの負または正偏差は、それぞれ、論理0または1に有利なエラーを示す。

【0032】次の説明は、本発明のOPMを使用する分散監視に関する。分散監視の実現を詳細に記載する前に、輝度変調されたデータ信号のパワースペクトルにおける波長分散の効果を簡単に説明する。

【0033】波長分散は、搬送周波数のまわりの二次移相を伝搬信号のパワースペクトルに付加することが知られている。分散移相（ Φ_d ）は、次の方程式（2）によって表される。

$$\Phi_d = \pi \lambda_0^2 (f - f_0)^2 \frac{D}{c} \quad (2)$$

ここで、 λ_0 は、中心周波数であり、 f は、周波数であり、 f_0 は、中心周波数に対応する光周波数であり、 D は、全累積分散（通常ps/nmで測定）であり、そして c は、光の速度である。方程式（2）を使用して、周波数 $f = f_0 + f_c$ において現れる移相により全累積分散が記述される。ここで、 f_c は、データ変調レート（10Gb/sに対して10GHz）に対応するクロック周波数である。たとえば、10Gb/sにおいて変調された信号に対する1000ps/nmの分散値は、中心周波数から10GHz離れた周波数における約0.8πラジアンに移相に対応する。有意パルスひずみは、πラジアンの高次の移相に対して出現することが知られている。

【0034】図5A～図5Eは、擬似ランダム、零復帰（RZ）、40%デューティサイクルの光データ信号のパワースペクトルに及ぼす波長分散の効果を示す。図5Aは、波長分散のない場合に代表的2¹⁴ビットデータシーケンスの検出RF（無線周波数）パワースペクトルである。図5B～図5Eは、多様な波長分散量、具体的には、0.5、1.0、2.0および3.0πラジアン/波長の波長分散がある場合の同一データシーケンスのRFパワースペクトルを示す。図5A～図5Eの結果によって示された如く、波長分散の効果は、スペクトルにおける周期ヌル列を伝えることであり、ヌルは、分散の増大とともに低周波数に伝搬し、ヌルの周期性は、波長分散の対応する量に比例する。このため、たとえば、RFパワースペクトルを監視し、そのような周期性を測定することにより、波長分散量が決定される。

【0035】時間従属関数の自己相関関数のフーリエ変

換は、時間従属関数のパワースペクトルに対応することが知られている。このため、波長分散量を決定する方法は、(1) OAC214 (図2) を使用して自己相関関数をサンプリングし、(2) FFT要素222を使用してパワースペクトルを獲得し、(3) たとえば、プロセッサ228を使用して、パワースペクトルの変調周期性からの分散度を決定するものである。この方法は、たとえば、OAC214が比較的大きな自己相関点数をサンプリングするように構成される時、使用される。しかし、サンプリング点数が比較的小さいならば、異なる方法が、適用される必要がある。

【0036】一実施形態において、図2のOPM110は、非常に少数の自己相関点をサンプリングするように構成された安価なOAC214を有する。次は、0、 $1/2$ および1ビット遅延に対応する3つの自己相関点のみをサンプリングするように構成されたOAC214を使用して、波長分散量がいかに監視されるかを示す例である。これらの点によって表現された自己相関関数のフーリエ変換は、周波数領域において3つの成分(スペクトル成分)を有する。Tがビット周期であるならば、スペクトル成分は、0 (またはDC)、 $1/T$ 、および $1/(2T)$ に対応する周波数において位置する。

【0037】図6は、図5A～図5Eに示されたパワースペクトルに対応して、上記で獲得された3つのスペクトル成分の振幅に及ぼす波長分散の効果を示す。図6の結果は、 $1/T$ 成分は、 $0 \sim 0.5 \pi$ ラジアン(波長分散変化に最も感応することを示す。しかし、 0.5π ラジアンを超える成分の使用は、振幅と波長分散値の間に1対1対応を与えず、こうして、測定を曖昧にする。図6の結果は、さらに、 $1/(2T)$ 成分の使用は、約 1.0π ラジアンまで非曖昧性を拡大することを示す。しかし、この拡大は、波長分散変化への感度を低下させて達成される。感度と監視される必要のある波長分散範囲に対する必要条件により、いずれかの成分が、波長分散度を決定するために使用される。

【0038】信号処理技術は、自己相関関数の3つのサンプルを使用して監視される波長分散範囲をさらに拡大するために適用される。たとえば、サンプルをウィンドウ処理する方法(文献では時間領域におけるアポジゼーションまたはフィルター化と呼ばれる)が当分野で良く知られている。スペクトルのいくつかの特性は、スペクトルを畳み込むことにより改良され、限定数のサンプル(打ち切り変調)のために、スペクトルに有効に適用された正弦波よりも満足する形状を有する。周波数領域における畳み込みは、時間領域における掛け算と等価であるために、ウィンドウ処理する方法は、フーリエ変換の前のサンプルに時間領域のウィンドウ関数を掛け算するものである。そのようなウィンドウ関数の実施例としては、三角関数がある。他のウィンドウ関数、たとえば、指数関数等も使用される。

【0039】図7は、図5A～図5Eに示されたパワースペクトルに対応して、次のように獲得された3つのスペクトル成分の振幅に及ぼす波長分散の効果を示す。自己相関関数は、0、 $1/2$ 、および1ビット遅延点においてサンプリングされる。付加的なゼロが、 $3/2$ ビット遅延においてサンプルへ付加(ゼロ充填)される。結果の4つの点は、遅延の大きい順に4つの点に対応する振幅 1 、 $2/3$ 、 $1/3$ および0によって表現された三角関数によって掛け算(時間領域フィルター)される。それから、ゼロ充填され、時間領域フィルターされた自己相関関数は、フーリエ変換され、DC、 $1/(3T)$ 、 $2/(3T)$ および $1/T$ に対応する周波数に位置する4つのスペクトル成分を生ずる。これらの4つのスペクトル成分の内の3つ、すなわち、DC、 $1/(3T)$ および $1/T$ が、図7において示される。

【0040】図7に示された如く、DCおよび $1/T$ 成分は、図6の対応する成分と同様な挙動をする。しかし、 $1/(3T)$ 成分は、図6の $1/(2T)$ 成分に対する約 1.0π ラジアンと比較して、約 3.0π ラジアンと単調である。このため、 $1/(3T)$ 成分を使用して、広範囲の波長分散値がアクセスされる。

【0041】波長分散の監視に加えて、図6と図7に示されたスペクトル成分はまた、他の信号減損を監視するために使用される。たとえば、パルスカーバーと送信機におけるデータ変調器の間の位置合せずれは、 $1/(2T)$ 成分を使用して監視される。位置合せずれの存在は、変調クロック周波数の約 0.5 に対応する周波数に位置するパワースペクトルにおいて溝を作り出す。このため、 $1/(2T)$ 成分の振幅の減少は、位置合せずれを指示する。他方、そのスペクトル成分の最大振幅は、適正な位置合せに対応する。一実施形態において、 $1/(2T)$ 成分の振幅に基づいたフィードバック信号は、プロセッサ228を使用して生成され、たとえば、パルスカーバーへ適用され、位置合せずれを縮小する。

【0042】たとえば、偏波モード分散による、光パルス拡がりは、たとえば、2つ以上のスペクトル成分を使用して、監視される。パルス拡がりのスペクトル効果は、比較的低い周波数の寄与を増しながら、比較的高い周波数のパワースペクトルへの寄与を縮小するために、低域通過フィルターに類似する。このため、パルス拡がりを検出するために、少なくとも1つの比較的高い周波数のスペクトル成分と少なくとも1つの比較的低い周波数のスペクトル成分を監視することができる。さらに具体的には、同時の前者の減少と後者の増大は、OPMの位置に到来する光パルスの拡がりに対応する。

【0043】前記のように、本発明のOPMは、種々のタイプの光信号減損を監視するように構成される多目的装置である。時間領域自己相関点、または対応するスペクトル成分のいずれか、あるいはこれら両者が、そのような監視において使用される。特定の実現により、OP

Mは、互いに多様に遅延された異なる数の自己相関点をサンプリングするように構成される。OPMは、FFT要素を有するとして記載されたが、技術における当業者は、離散フーリエ変換(DFT)要素も使用されることを認めるであろう。加えて、OPMは、様々な波長、波形、および/または変調レートに対応する光信号をサンプリングするように構成される。さらに、OPMは、各変調レートに対して適切なサンプル点を選択することにより、2つ以上の変調レートで動作するように適合される。本発明の実施形態が、OAC検出器など、アバランシェフォトダイオードを使用して記載されたが、他のタイプの検出器および/または非線形光学成分、たとえば、SHGクリスタル(KTP等)と線形フォトダイオードも使用される。加えて、高次非線形光学プロセス、たとえば、3光子吸収が、光性能監視のために同様に使用される対応する高次信号自己相関を獲得するために使用される。

【0044】この発明が例示の実施形態を参照して記載されたが、この説明は、限定的な意味において解釈されてはならない。記載された実施形態の多様な修正並びに発明が属する技術における当業者には明らかな他の実施形態も、特許請求の範囲において記載された発明の原理および範囲内に入るものと考えられる。

【0045】請求の範囲の方法の諸ステップは、対応するラベルにより特定の順番で列挙されるが、これらのステップの部分または全体を実現するために特定の順番を指定しないならば、これらのステップは、その特定の順

番における実現に限定されることは意図されない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態による光性能モニターを使用する光ファイバーネットワークを示す。

【図2】本発明の一実施形態による図1の光ファイバーネットワークにおいて使用される光性能モニターを示す。

【図3】本発明の一実施形態による図2の光性能モニターに使用される光自己相関器を示す。

【図4】本発明の別の実施形態による図2の光性能モニターに使用される光自己相関器を示す。

【図5A】擬似ランダム、ゼロ復帰(RZ)光データ信号のパワースペクトルにおける波長分散の効果を示す。

【図5B】擬似ランダム、ゼロ復帰(RZ)光データ信号のパワースペクトルにおける波長分散の効果を示す。

【図5C】擬似ランダム、ゼロ復帰(RZ)光データ信号のパワースペクトルにおける波長分散の効果を示す。

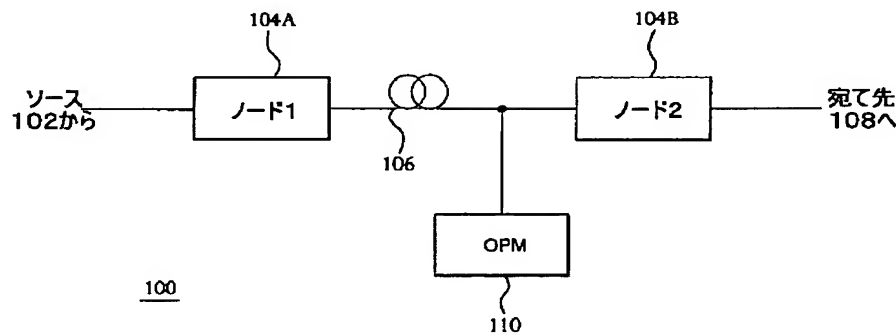
【図5D】擬似ランダム、ゼロ復帰(RZ)光データ信号のパワースペクトルにおける波長分散の効果を示す。

【図5E】擬似ランダム、ゼロ復帰(RZ)光データ信号のパワースペクトルにおける波長分散の効果を示す。

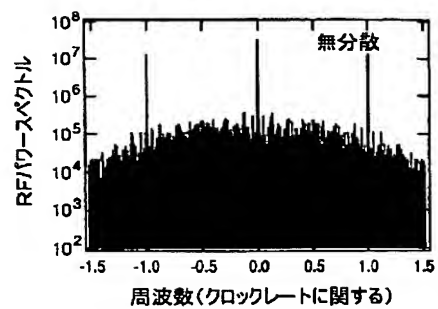
【図6】3つの自己相関点に基づいて獲得された3つのスペクトル成分の振幅における波長分散の効果を示す。

【図7】図6に示されたスペクトル成分を生成するために使用され、ゼロ充填と三角時間領域窓関数を使用して獲得された3つの自己相関点に対応する3つの異なるスペクトル成分の振幅における波長分散の効果を示す。

【図1】

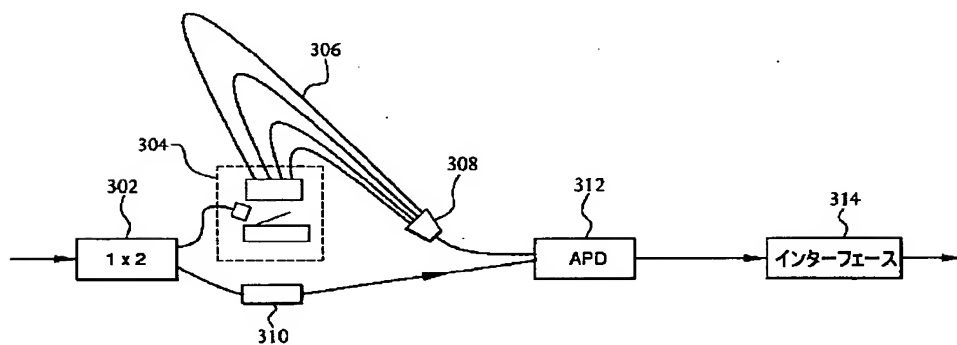


【図 5 A】

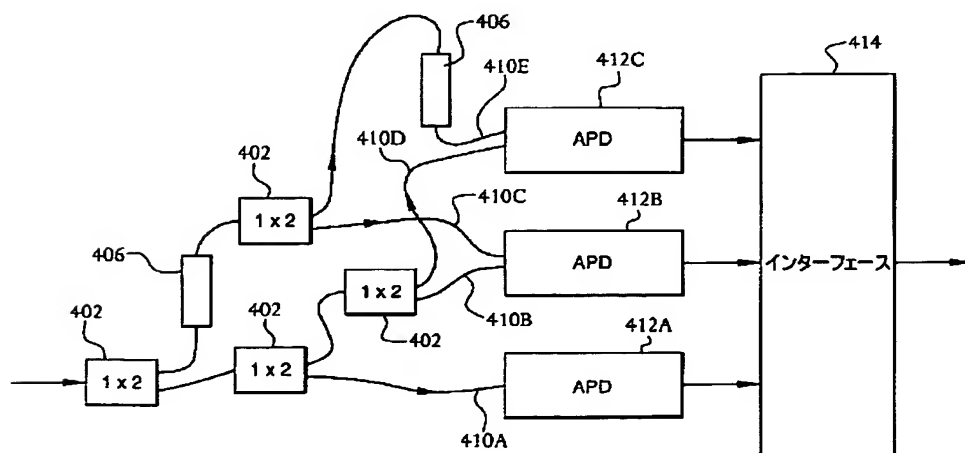


110

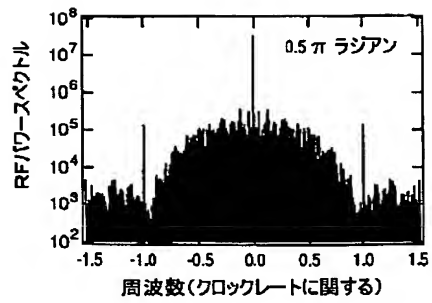
【図 3】



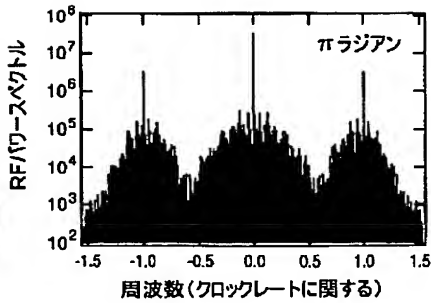
【図 4】



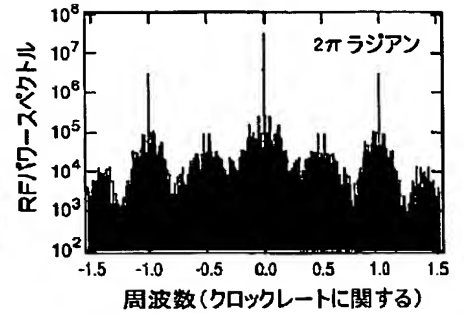
【図 5 B】



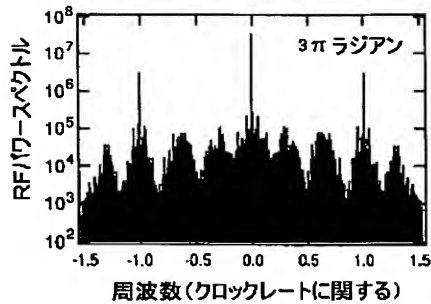
【図 5 C】



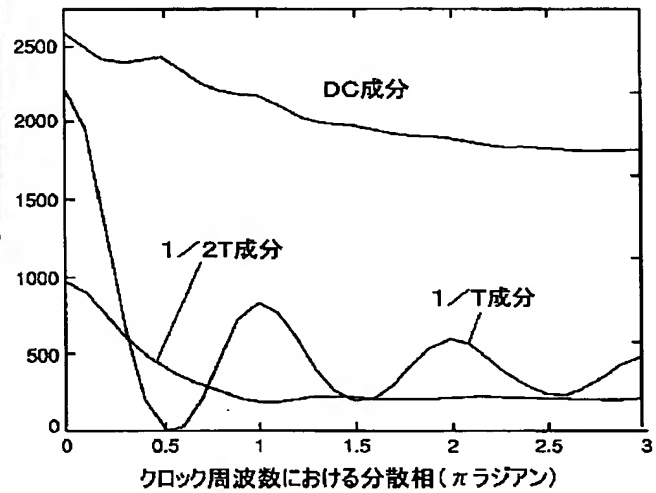
【図 5 D】



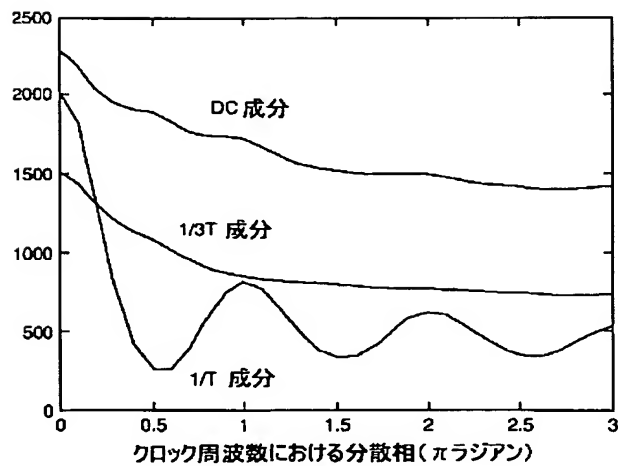
【図 5 E】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 ヘルナンド ガルシア
アメリカ合衆国 07728 ニュージャージー
イ, フリーホールド, コーニグ レーン
47
- (72)発明者 ダニエル チャールズ キルバー
アメリカ合衆国 07728 ニュージャージー
イ, フリーホールド, ベッツィー ロス
ドライブ 254
- (72)発明者 ウェイン ハーヴェイ ノックス
アメリカ合衆国 14534 ニューヨーク,
ピッツフォード, グレイウッド レーン
21
- (72)発明者 ホワード ロイ スチュアート
アメリカ合衆国 07701 ニュージャージー
イ, レッド バンク, ワラス ストリート
68
- (72)発明者 チュンヒュイ シュ
アメリカ合衆国 08854 ニュージャージー
イ, ピスカタウェイ, シェフフィールド
コート 510
- Fターム(参考) 2K002 AA02 AB22 AB40
5K042 BA10 CA10 CA23 DA14 DA16
DA17 DA21 DA24 EA15 FA25
GA11 JA01 LA09
5K102 AA41 LA04 LA06 LA08 LA13
LA26 LA52